

**Juan Pablo Paz**Departamento de Física, FCEYN  
Instituto de Física de Buenos Aires, UBA-Conicet

# La física de la próxima década

*¿Es muy difícil hacer predicciones,  
sobre todo acerca del futuro!*

**E**sta frase, atribuida a Niels Bohr, es apropiada para encabezar un artículo que intenta predecir las cuestiones centrales de la física de la próxima década. Hoy, muchos problemas relevantes, tal vez los más relevantes, requieren de un enfoque interdisciplinario. No son problemas exclusivos de la física y por eso no los mencionaré aquí. Presentaré, en cambio, una selección subjetiva y discrecional de los temas centrales de la física que, a mi juicio, serán los protagonistas de la década. Mi primera predicción es: en los próximos años la física como ciencia (y no solamente de los físicos) será cada vez más importante en investigaciones interdisciplinarias.

## Micro y macrofísica más allá del modelo estándar

Uno de los grandes éxitos de la física del siglo XX fue la formulación de un modelo acerca de la estructura de la materia y sus interacciones. Se lo conoce como el *modelo estándar* y puede describirse, simplificado, de la siguiente manera: toda la materia está constituida por combinaciones de partículas elementales —es decir, que no se pueden dividir o carecen de estructura interna—, a las que podemos considerar análogas a ladrillos. Hay tres familias diferentes de esos ladrillos y, en cada

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Se descubrirán fenómenos físicos no explicados por el modelo estándar que describe la estructura de la materia y sus interacciones? ¿Se logrará formular una teoría unificada de las cuatro fuerzas o interacciones fundamentales de la naturaleza? ¿Tendremos computadoras cuánticas? ¿Controlaremos la nanoescala?

familia, hay ladrillos de dos tipos, a los que llamamos leptones y quarks. Por ejemplo, los leptones de la primera familia son el electrón y el neutrino, mientras que los quarks de esa misma familia llevan los nombres de up y down. Combinando los ladrillos de esta primera familia obtenemos casi toda la materia ordinaria, la que compone nuestras moléculas.

Quarks y leptones interactúan entre sí mediante cuatro fuerzas fundamentales: la fuerza electromagnética, la gravedad, la fuerza nuclear débil y la fuerte. Cada mecanismo de interacción puede describirse como fruto del intercambio de otras partículas, a las que se denomina mediadoras. A cada fuerza fundamental corresponde un mediador diferente. Así, por ejemplo, las partículas con carga eléctrica intercambian fotones, mientras que los quarks también intercambian gluones. A los leptones, los quarks y los mediadores el modelo estándar agrega otra partícula, responsable de la inercia de todas las demás: el bosón de Higgs. Su existencia, predicha por el modelo, fue confirmada experimentalmente hace tan solo un año. Las propiedades del Higgs, estudiadas en el gran colisionador de hadrones (LHC) del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), situado cerca de Ginebra, parecen encajar perfectamente en el modelo estándar, el que tiene un notable poder predictivo: permitió anticipar correctamente los resultados de todos los experimentos hechos hasta el momento en todos los aceleradores de partículas del mundo.

Sin embargo, la mayoría de los físicos están convencidos de que el modelo estándar no es una teoría definitiva, y de que existe física más allá de él. La evidencia de que esto es así no surgió hasta el momento de los grandes aceleradores de partículas, como el mencionado LHC, sino de otras dos fuentes. Una es la teoría: el modelo estándar deja sin explicación hechos fundamentales, que deben ser aceptados como axiomas, por ejemplo, que existen tres familias de partículas, o las cargas eléctricas y las masas que tienen las partículas elementales. Para la física, que busca una explicación sencilla para todo, el modelo estándar es una teoría con demasiados parámetros libres. La otra fuente son las evidencias astrofísicas, según las cuales la mayor parte de la materia que compone nuestro universo no está descrita por el modelo estándar. La primera comprobación experimental de este hecho provino de los movimientos de rotación de las galaxias, que solo pudieron explicarse aceptando que hay materia no luminosa —a la que por ese motivo se denominó *materia oscura*— que atrae gravitacionalmente a toda la que gira a su alrededor.

La comprensión de la naturaleza de la materia oscura es central para poder entender la verdadera composición de nuestro universo, lo que convierte a la búsqueda de física más allá del modelo estándar en uno de los problemas centrales de la disciplina. En la próxima década es posible que se produzcan avances en este campo.

Los grandes experimentos del LHC podrían arrojar resultados no predichos por el modelo estándar, los que, por primera vez, podrían dar sustento fáctico a teorías alternativas a este, como las basadas en supersimetrías. Por otra parte, la naturaleza de la materia oscura podría comenzar a entenderse a partir de una gran cantidad de experimentos astrofísicos que están en marcha. La detección directa de huellas de ese tipo de materia sería verdaderamente revolucionaria, por lo que se puede anticipar que su búsqueda continúe intensamente durante la próxima década.

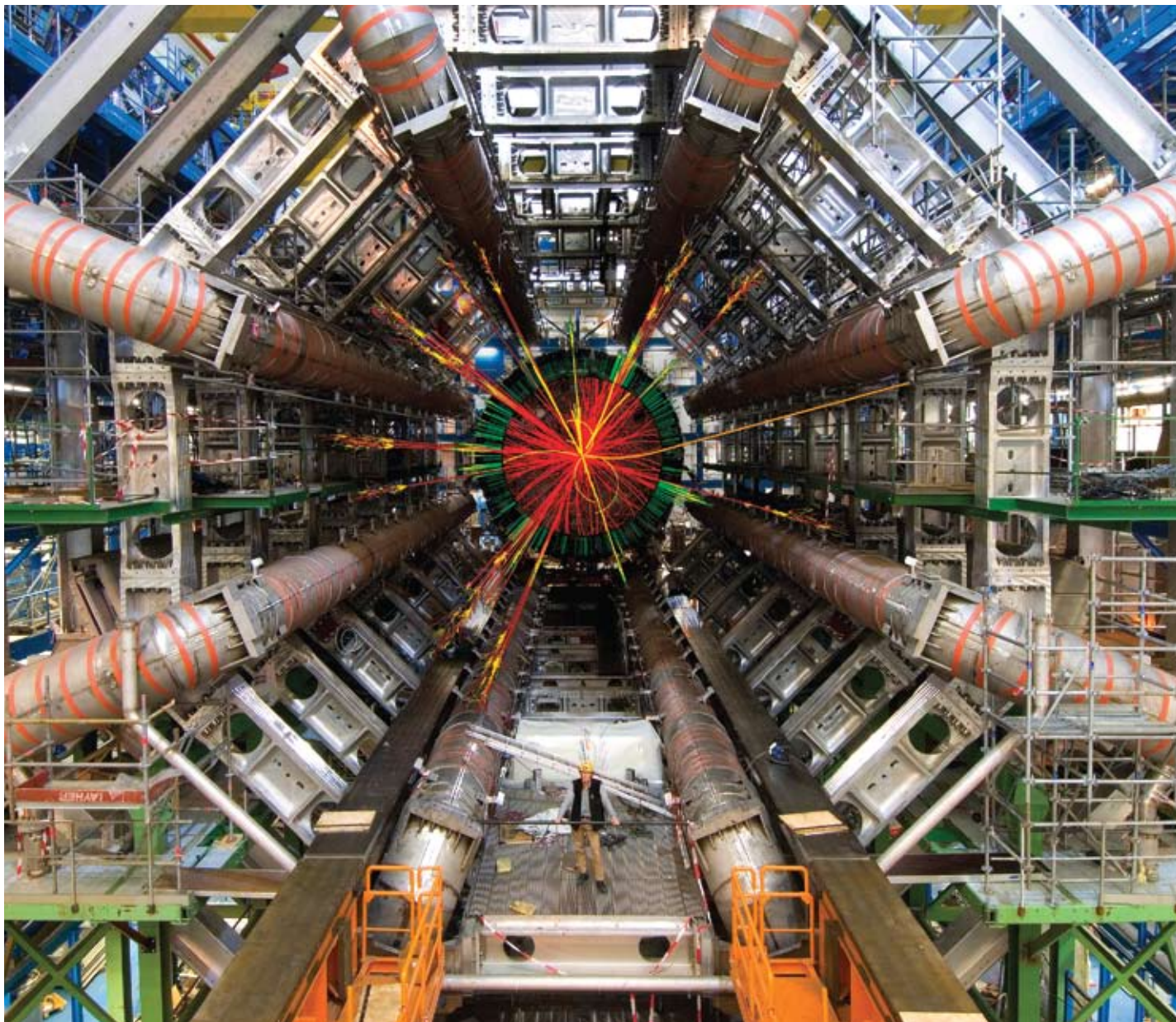
## La gravitación, el universo en gran escala y la unificación

La física moderna nació con el estudio de la gravitación, la fuerza que gobierna el movimiento de los planetas y la caída de los cuerpos, que son dos caras de la misma moneda. A comienzos del siglo XX se descubrió que la materia y la energía modifican la estructura del espacio y del tiempo. El gran logro de la teoría de la relatividad de Einstein, que es la teoría de la gravitación, fue comprender que la materia determina cómo se curva el espacio, y que este establece cómo se mueve la materia. Muchas de las predicciones de la teoría de Einstein fueron confirmadas, pero una se ha resistido hasta ahora a todos los intentos de hacerlo: la existencia de ondas gravitatorias.

Dichas ondas, según la teoría, son irradiadas por cualquier objeto en el que la distribución de materia varíe en el tiempo. En ese caso, se produce una alteración de la estructura del espacio que se propaga como una onda. Al llegar hasta nosotros, las ondas gravitatorias producen pequeñas vibraciones que tienen una forma peculiar: hacen que los objetos se acerquen en una dirección mientras que se alejan en la dirección perpendicular a ella. La detección de ondas gravitatorias será una de las protagonistas de la próxima década. Hay varios experimentos en marcha —de los que el más notable es el Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, o LIGO— que parecen hallarse cerca de detectar ondas gravitatorias generadas por fenómenos astrofísicos frecuentes, como el choque de dos estrellas compactas. Asimismo, los avances en la comprensión de la forma que tendrían dichas ondas han logrado aumentar significativamente la posibilidad de encontrarlas. Si esto se lograra, no solo quedaría confirmada una teoría fundamental sino, también, se abriría una nueva ventana para observar el universo: sería el nacimiento de la astronomía de ondas gravitatorias, que se sumaría a la astronomía de ondas de luz u óptica y a la radioastronomía.

El nuevo tipo de astronomía permitiría conocer detalles de las primeras etapas de la vida del universo, aun-





Instalaciones del gran colisionador de hadrones (LHC) del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), cerca de Ginebra. Los hadrones están compuestos por quarks que se mantienen unidos por la acción de la fuerza fuerte.

que durante la próxima década muchos de esos detalles podrán ser develados por otros experimentos, que serán actores protagónicos de la física del futuro. En ese lapso, midiendo variaciones en la polarización de la radiación cósmica de fondo, se detectarán las propiedades de esta con precisión nunca antes alcanzada. Esos experimentos, junto con otros, lograrán que se desarrolle la cosmología de precisión, que a nuestro juicio será una de las vedettes de la década venidera.

Por primera vez, las predicciones cuantitativas de modelos cosmológicos podrán ser puestas a prueba mediante experimentos que nos permitirán relevar las grandes estructuras de nuestro universo. Esos esfuerzos probablemente nos acerquen a responder a preguntas

tan fundamentales como por qué caminos el universo adquirió la estructura tan compleja que tiene partiendo de un estado primordial en que era extremadamente homogéneo. Asimismo, tal vez logremos determinar misterios sobre la expansión del universo. En la actualidad no se comprende aún cuál es el tipo de energía que podría estar generando la expansión acelerada que hoy se observa. Por analogía con la materia oscura, esa desconocida energía se denomina *energía oscura*.

Si bien la física hizo grandes avances en la comprensión del universo, todavía no logró una comprensión completa: pese a los grandes esfuerzos realizados, no ha podido formular un modelo consistente de las cuatro fuerzas o interacciones fundamentales de la naturale-

za. La gravitación se resiste a los intentos por unificarla con la interacción electromagnética, y con las fuerzas nucleares débil y fuerte. En el modelo estándar —que está formulado según la mecánica cuántica—, estas tres interacciones se describen mediante el intercambio de partículas mediadoras. En cambio, todavía no vio la luz una teoría matemáticamente consistente que describa la gravitación como el intercambio de mediadores (que se denominan *gravitones*). El trabajo en pos de la teoría unificada de las cuatro interacciones —o teoría del todo— continuará insumiendo esfuerzos y recursos durante la próxima década, pero no me atrevo a predecir que logrará avances definitivos en ese lapso, pues se trata de un problema fundamental que ha resistido todos los intentos por resolverlo durante más de medio siglo. Si me equivoco, mi excusa será la frase del epígrafe que encabeza este texto.

## La mecánica cuántica en la era de la información

La unificación de la gravitación, una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, y la mecánica cuántica, el marco teórico en el que se describen todas las otras interacciones fundamentales, es una cuenta pendiente de la física. Pero a cien años del nacimiento de la mecánica cuántica estamos viviendo, de acuerdo con la opinión de muchos, una nueva revolución cuántica.

Esta será una de las protagonistas de la física de la próxima década, que pondrá a prueba las predicciones cuánticas más curiosas, como el *entrelazamiento*, en cuya presencia el todo es más que la suma de las partes. Hoy consideramos al entrelazamiento no solo una extraña propiedad de la materia sino, también, un recurso valioso que permite realizar tareas incomprensibles para el sentido común. La producción, el control y la manipulación del entrelazamiento en escala macroscópica ocuparán una posición de privilegio en dicha física, y quizá se extienda más allá de las investigaciones fundamentales para hacer viable una nueva tecnología que podría tener fuerte incidencia en la sociedad de la información: la computación cuántica. Probablemente en los próximos diez años no logremos construir computadoras cuánti-


cas poderosas, pero podremos comprender si son factibles o tan solo una quimera.

## La nanoescala y el diseño de nuevos materiales

La física actual permite controlar y manipular la materia en tamaños de unos pocos nanómetros (millonésimas partes de milímetro). Es el tamaño característico de las moléculas, en el que química y física interactúan de manera natural. En la próxima década es probable que sigamos produciendo nuevos materiales de comportamiento tan sorprendente como los que vieron la luz en los últimos años, por ejemplo, los diseñados sobre la base de grafeno y nanotubos de carbono. Veremos aparecer algunos con propiedades ópticas especialmente buscadas. Los llamados ‘*metamateriales*’ permitirían fabricar lentes sin aberraciones y habría otros que podrían volverse invisibles iluminados con luz de ciertos colores.

En los próximos años se hará un esfuerzo importante para diseñar y fabricar micro y nanomáquinas, que son dispositivos similares a los que existen en el interior de las células y podrán usarse para realizar varias tareas de interés práctico. Como los dispositivos nanomecánicos operan en la frontera entre la mecánica clásica y la cuántica, darán lugar a experimentos con los que se podrá estudiar una región de la naturaleza poco explorada hasta el momento.

## Epílogo

La física seguirá buscando responder a preguntas fundamentales para avanzar en la comprensión del universo y de la estructura de la materia. A la vez, seguirá siendo la fuente de innovaciones que cambian a la sociedad, como nuevas formas de generar y almacenar energía aprovechable. (Se continuará estudiando el control de la fusión nuclear, pero pocos vaticinan avances revolucionarios en ese campo.) Pero, ante todo, la física seguirá siendo, como escribió Albert Einstein, una aventura del pensamiento. 



**Juan Pablo Paz**

Doctor en física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

Investigador superior del Conicet.

Profesor titular, FCEYN, UBA.

<http://www.qufiba.df.uba.ar>